

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT

This is to certify that the annexed is a true copy
of the following application as filed with this office.

Date of Application: September 29, 2000

Application Number: Japanese Patent Application
No. 2000-301489

Applicant(s) FUJITSU QUANTUM DEVICES LIMITED

April 20, 2001

Commissioner,
Patent Office

Kouzo Oikawa (Seal)

Certificate No.2001-3034291

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2000年 9月29日

出 願 番 号

Application Number:

特願2000-301489

出 願 人

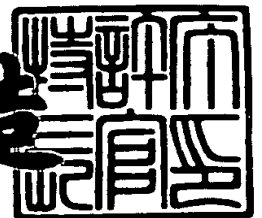
Applicant(s):

富士通カンタムデバイス株式会社

2001年 4月20日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2001-3034291

【書類名】 特許願

【整理番号】 0001018

【提出日】 平成12年 9月29日

【あて先】 特許庁長官 及川 耕造 殿

【国際特許分類】 H01L 31/10

【発明の名称】 半導体受光装置およびその製造方法

【請求項の数】 13

【発明者】

【住所又は居所】 山梨県中巨摩郡昭和町大字紙漉阿原1000番地 富士
通カンタムデバイス株式会社内

【氏名】 穴山 親志

【発明者】

【住所又は居所】 山梨県中巨摩郡昭和町大字紙漉阿原1000番地 富士
通カンタムデバイス株式会社内

【氏名】 内田 徹

【特許出願人】

【識別番号】 000154325

【氏名又は名称】 富士通カンタムデバイス株式会社

【代理人】

【識別番号】 100070150

【住所又は居所】 東京都渋谷区恵比寿4丁目20番3号 恵比寿ガーデン
プレイスタワー32階

【弁理士】

【氏名又は名称】 伊東 忠彦

【電話番号】 03-5424-2511

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 特願2000-169448

【出願日】 平成12年 6月 6日

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 002989

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9806577

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 半導体受光装置およびその製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 第 1 の導電型の半導体基板と、
前記半導体基板上に設けられた受光層と、
前記受光層の一部に形成された第 2 の導電型の領域と、
前記受光層に対して、前記第 2 の導電型の領域を介して厚さ方向に電界を印加する電極手段とを備え、

前記受光層は、圧縮歪を蓄積し、所定波長の光を吸収する第 1 の半導体層と、
引っ張り歪を蓄積し、前記第 1 の半導体層よりも薄い第 2 の半導体層とを含み、
前記第 1 の半導体層と前記第 2 の半導体層とは、前記受光層中において交互に繰り返されることを特徴とする半導体受光装置。

【請求項 2】 前記第 1 の半導体層は 0.2 % 以上、0.6 % 以下の歪を有することを特徴とする請求項 1 記載の半導体受光装置。

【請求項 3】 前記第 1 の半導体層は、50 nm 以上の厚さを有することを特徴とする請求項 1 記載の半導体受光装置。

【請求項 4】 前記第 2 の半導体層は、 ε を前記第 1 の半導体層の歪量（%）、 L を交互に繰り返された前記第 1 の半導体層と前記第 2 の半導体層との総和（ μm ）として、第 1 の半導体層と第 2 の半導体層との和の $(0.9 \times L^{1/4} \times \varepsilon)$ 倍以下の厚さを有することを特徴とする請求項 1～2 のうち、いずれか一項記載の半導体受光装置。

【請求項 5】 前記第 2 の半導体層は、前記第 1 の半導体層の厚さの $1/2$ 以下の厚さを有することを特徴とする請求項 3 記載の半導体受光装置。

【請求項 6】 前記第 1 の半導体層と前記第 2 の半導体層とは、いずれも三元化合物半導体よりなることを特徴とする請求項 1 記載の半導体受光装置。

【請求項 7】 前記基板は n 型 InP よりなり、前記第 1 および第 2 の半導体層は n 型 InGaAs よりなることを特徴とする請求項 1～6 のうち、いずれか一項記載の半導体受光装置。

【請求項 8】 前記第 1 の半導体層と前記第 2 の半導体層との間に、さらに

前記第 1 の半導体層と前記第 2 の半導体層の中間のバンドギャップを与える組成の中間層を設けたことを特徴とする請求項 1 ～ 7 のうち、いずれか一項記載の半導体受光装置。

【請求項 9】 前記中間層は、前記第 1 の半導体層が前記第 2 の半導体層に接する界面のうち、前記第 2 の導電型の領域の側の界面に形成されることを特徴とする請求項 8 記載の半導体受光装置。

【請求項 1 0】 前記中間層は組成が前記第 1 の半導体層と前記第 2 の半導体層との間において、膜厚方向に漸移的に変化することを特徴とする請求項 8 または 9 記載の半導体受光装置。

【請求項 1 1】 前記中間層は、前記第 2 の半導体層に接する側において引っ張り歪を蓄積し、前記第 1 の半導体層に接する側において圧縮歪を蓄積するように組成を変化させることを特徴とする請求項 1 0 記載の半導体受光装置。

【請求項 1 2】 半導体基板上に、前記基板とは格子定数の異なる三元化合物からなり圧縮歪を有する第 1 の半導体層と、前記基板とは格子定数の異なる三元化合物からなり引っ張り歪を有する第 2 の半導体層とを、成長ガスの供給を中断することなく、連続的に流量変化させることで交互に、繰り返し形成し、受光層を形成する工程と、

前記受光層上に、前記受光層の厚さ方向に電界を印加する電極を形成する工程とを含むことを特徴とする半導体受光装置の製造方法。

【請求項 1 3】 前記第 1 の半導体層と前記第 2 の半導体層とを形成する工程は、MOVPE法を使い、有機金属原料の流量を連続的に変化させることにより、前記第 1 の半導体層と前記第 2 の半導体層とを交互に繰り返し形成する工程を含むことを特徴とする請求項 1 2 記載の半導体受光装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は一般に光半導体装置に係り、特に半導体受光装置およびその製造方法に関する。

【0002】

インターネットの急速な普及に伴い、光ファイバ通信回線の通信容量が逼迫している。このため、既存の光ファイバ通信回線を使いながら通信容量を増大させるため、単一の光ファイバ中に複数の異なった波長の光キャリアを伝搬させ、前記複数の光キャリアに、その波長に対応したチャネルの光信号を載せる、いわゆる波長多重化通信技術（WDM）が使われ始めている。

【 0 0 0 3 】

最近では、前記光キャリアの波長帯域を 1 6 2 0 n m 程度までの長波長側（いわゆる L バンド）に拡張する試みが検討されている。これに伴い、1 6 2 0 n m の長波長帯域に感度を有する高速受光素子が必要とされている。

【 0 0 0 4 】

【従来の技術】

図 1 は、従来の裏面入射型 P I N フォトダイオード 2 0 の構造を示す。

【 0 0 0 5 】

図 1 を参照するに、P I N フォトダイオード 2 0 は n 型 I n P 基板 7 上に構成されており、前記基板 7 上に形成された第 1 の n 型 I n P バッファ層 6 と、前記 バッファ層 6 上に形成された第 2 の n 型 I n P バッファ層 4 と、前記 n 型 I n P バッファ層 4 上に形成された n 型 I n G a A s 光受光層 3 と、前記受光層 3 上に形成された n 型 I n P クラッド層 2 と、さらに前記クラッド層 2 上に形成された非ドープ I n G a A s P コンタクト層 1 とを含み、前記第 2 バッファ層 4、受光層 3、クラッド層 2 およびコンタクト層 1 は、前記第 1 バッファ層 6 上においてメサ構造を形成する。前記メサ構造形成のため、前記第 1 バッファ層 6 と第 2 バッファ層 4 との間には、n 型 I n G a A s P よりなるエッチングストッパ層 5 が挿入されている。

【 0 0 0 6 】

さらに前記コンタクト層 1 とクラッド層 2 には、p 型拡散領域 8 が形成されており、前記 p 型拡散領域 8 にコンタクトするように p 側電極 9 が、また前記メサ形成に伴い露出された n 型 I n G a A s P エッチングストッパ層 5 上には n 側電極 1 0 が形成されている。さらに、前記 I n P 基板 7 の下側主面上には集光レンズ 7 A が形成されている。

【 0 0 0 7 】

かかる構成の P I N フォトダイオード 2 0 では、前記 I n P 基板 7 の下面に入射した入射光はレンズ 7 A により前記 p 型拡散領域 8 とその下の受光層 3 との境界面近傍に集光され、その結果かかる境界面近傍の領域においてキャリアが励起され、前記受光層 3 は光吸収層として作用する。励起されたキャリアは、極性により p 側電極 9 あるいは n 側電極 1 0 へと流れ、光電流に変換される。

【 0 0 0 8 】

一般にこのような P I N フォトダイオード 2 0 では、光吸収効率を向上させるため、また結晶欠陥の発生を回避するために、前記 I n G a A s 光吸収層 3 を約 $2 \mu\text{m}$ の厚さに、I n P 基板 7 に対して格子整合するような組成で形成している。前記光吸収層 3 の厚さが $2 \mu\text{m}$ 程度であれば、光吸収効率が向上する一方で、発生したキャリアの走行時間も問題にならず、従って光ファイバ通信回線で使われる $10 \text{ Gbit} / \text{秒}$ 程度の伝送速度に対応可能な高速応答性が確保される。

【 0 0 0 9 】

【発明が解決しようとする課題】

図 1 の従来の P I N フォトダイオード 2 0 では、前記 I n G a A s 受光層が I n P 基板 7 に格子整合する必要があるため、バンドギャップが室温で 1650 nm 程度になる。このため、図 1 の従来の P I N フォトダイオード 2 0 は室温においては前記 1620 nm の長波長光信号の検出が十分に可能であるが、一方このような光ファイバ通信回線で使われるフォトダイオードは -40°C のような低温環境でも動作可能なことが要求される。

【 0 0 1 0 】

しかし、図 1 の P I N フォトダイオード 2 0 をこのような低温環境下で動作させると、前記受光層 3 のバンドギャップが拡大し、このため受光層 3 の光吸収効率は 50% 以下に低下してしまう。この問題を回避するために、前記受光層 3 中の I n 組成を増やすことも考えられるが、その場合には前記 I n P 基板 7 との格子整合が成立しなくなり、受光層 3 を光吸収に好適な $2 \mu\text{m}$ の厚さに形成しようとすると、欠陥が発生してしまうのが避けられない。欠陥が発生すると、リーク電流が増大し、受光装置の暗電流が増加する。一般に、結晶欠陥の発生を回避す

るためには前記受光層 3 の歪量を 0.1% 以下に抑制する必要がある。一方、こうすると前記低温環境下におけるバンドギャップの拡大を十分に補償することができない。

【0011】

これに対し、従来より特開平 7-74381 号公報あるいは特開昭 62-35682 号公報に、受光層 3 を光吸収層と、前記光吸収層に隣接して設けられ、逆歪（今の場合は引っ張り歪）を蓄積した歪補償層とにより構成し、圧縮歪を受ける光吸収層 3 と引っ張り歪を有する歪補償層とで、受光層全体として基板 7 から作用する応力を相殺する構成が提案されている。かかる構成によれば、前記光吸収層 3 と歪補償層とを交互に繰り返し形成することにより、前記光吸収層 3 に対して十分な層膜厚を確保することができる。例えば前記特開平 7-74381 号公報には、図 2 に示すように、引っ張り歪を蓄積した $\text{In}_{0.53-x}\text{Ga}_{0.53+x}\text{P}$ 層 21a と圧縮歪を蓄積した $\text{In}_{0.53+x}\text{Ga}_{0.53-x}\text{P}$ 層 21b とを繰り返し積層した超格子構造を有する光吸収層 21 が開示されている。図 2 の例では、前記光吸収層 21 は下側の n 型 InP コンタクト層 22 と上側の p 型 InP コンタクト層 23 との間に挟持される。また、前記特開昭 62-35682 号公報では、GaAs 基板を使い、厚さが 10 nm の GaAs 層と厚さが 10 nm の AlGaAs 層とを交互に積層して光吸収層を形成する構成が開示されている。

【0012】

しかし、これら従来の構造では、受光層中における正味の光吸収層の膜厚が、歪補償層を含んだ受光層全体の膜厚の $1/2$ にしかならず、このため正味の光吸収層に対して十分な膜厚を確保しようとする、前記超格子構造の繰り返し回数を増加させる必要があるが、このような構成では受光層全体の膜厚が過大になり、キャリアの走行時間が増大してしまう。このため、このような従来の構成の歪超格子受光装置では PIN フォトダイオードに特徴的な高速応答特性が損なわれる問題点が生じていた。

【0013】

そこで、本発明は上記の課題を解決した半導体受光装置を提供する。

【0014】

【課題を解決するための手段】

本発明は上記の課題を、第1の導電型の半導体基板と、前記半導体基板上に設けられた受光層と、前記受光層の一部に形成された第2の導電型の領域と、前記光吸収層に対して前記第2の導電型の領域を介して厚さ方向に電界を印加する電極手段とを備え、前記受光層は、圧縮歪を蓄積し、所定波長の光を吸収する第1の半導体層と、引っ張り歪を蓄積し、前記第1の半導体層よりも薄い第2の半導体層とを含み、前記第1の半導体層と前記第2の半導体層とは、前記受光層中において交互に繰り返されることを特徴とする半導体受光装置により解決する。

【0015】

前記半導体受光装置において、前記第1の半導体層は0.2%以上、0.6%以下の歪を有するのが好ましい。また前記第1の半導体層の厚さを50nm以上とするのが好ましい。前記第2の半導体層は、 ε を前記第1の半導体層の歪量(%)、 L を交互に繰り返された前記第1の半導体層と前記第2の半導体層との総和(μm)として、第1の半導体層と第2の半導体層との和の $(0.9 \times L^{1/4} \times \varepsilon)$ 倍以下の厚さを有するのが好ましい。また前記第2の半導体層は、前記第1の半導体層の厚さの1/2以下の厚さを有するのが好ましい。また前記第1の半導体層と前記第2の半導体層とは、いずれも三元化合物半導体よりなるのが好ましい。例えば、前記基板をn型InPとし、前記第1および第2の半導体層をInGaAsとしてもよい。さらに前記第1の半導体層と前記第2の半導体層との間に、さらに前記第1の半導体層と前記第2の半導体層の中間のバンドギャップを与える組成の中間層を設けるのが好ましい。かかる中間層は、前記第1の半導体層の界面のうち、前記第2の導電型の領域の側の界面に形成するのが好ましい。またその際、前記中間層は組成が前記第1の半導体層と前記第2の半導体層との間において、漸移的に変化させてもよい。この場合、前記中間層の組成を、前記第2の半導体層との界面において引っ張り歪を蓄積し、前記第1の半導体層との界面において圧縮歪を蓄積するように変化させるのが好ましい。

【0016】

さらに本発明は上記の課題を、半導体基板上に、前記基板とは格子定数の異なる三元化合物からなり圧縮歪を有する第1の半導体層と、前記基板とは格子定数

の異なる三元化合物からなり引っ張り歪を有する第2の半導体層とを、成長ガスを切り替えることなく連続的に流量変化させることで交互に、繰り返し形成し、受光層を形成する工程と、前記受光層上に、前記受光層の厚さ方向に電界を印加する電極を形成する工程とを含むことを特徴とする半導体受光装置の製造方法により解決する。

【0017】

前記半導体受光装置の製造方法において、前記第1の半導体層と前記第2の半導体層とを形成する工程は、MOVPE法を使い、有機金属原料の流量を連続的に変化させることにより、前記第1の半導体層と前記第2の半導体層とを交互に繰り返し形成するのが好ましい。

【作用】

本発明によれば、光吸収層と歪補償層をと交互に積層した超格子構造の受光層を有する半導体受光装置において、第1の半導体層、すなわち圧縮歪を有する光吸収層の膜厚を、第2の半導体層、すなわち引っ張り歪を有する歪補償層の膜厚よりも大きく設定し、同時に前記歪補償層中の引っ張り歪量を光吸収層中の圧縮歪量よりも増大させることにより、受光層全体の厚さを減少すると同時に受光層中における光吸収層の正味の膜厚を大きくすることができ、その結果長波長側に感度を有する高速受光装置を実現することが可能になる。

【0018】

前記歪補償層を極端に薄くする場合、歪補償量を確保するために歪補償層の引っ張り歪を大きくする必要があり、その結果、ある歪限界を超えると光吸収層との界面に欠陥が生じてしまう。本発明者はこの歪限界に関して新規な実験を行い、その知見から、以下に説明する関係式を導き出した（ここで歪限界とは、引っ張り歪層と圧縮歪層とを交互に積層した歪補償構造独特のものであり、一般に知られているミスフィット転位の発生機構に基づく臨界膜厚とは全く異なるものである）。

【0019】

まず本実験に関するモデル構造を図3を参照しながら説明する。

【0020】

図 3 を参照するに、本実験のモデル構造は I n P 基板上に形成された場合に圧縮歪を蓄積するような組成の I n G a A s 光吸収層 1 2 A と I n P 基板上に形成された場合に引張り歪を蓄積するような組成の I n G a A s 歪補償層 1 2 B とを含み、前記光吸収層 1 2 A と歪補償層 1 2 B とよりなる構造単位 1 2 U を I n P 基板 1 1 上に繰り返しエピタキシャルに積層した超格子構造 1 2 を有する。

【 0 0 2 1 】

前記光吸収層 1 2 A が $+\varepsilon w\%$ の圧縮歪を、また前記歪補償層 1 2 B が $-\varepsilon b\%$ の引張り歪をそれぞれ蓄積する場合、前記光吸収層 1 2 A の厚さを $l w$ 、前記歪補償層 1 2 B の厚さを $l b$ とすると、歪緩和防止のため、前記膜厚 $l w$ 、 $l b$ および前記歪量 εw 、 εb は、関係式

$$\varepsilon w \cdot L w = \varepsilon b \cdot L b \quad (1)$$

が成立するように設定される。ただし $L w$ および $L b$ は、前記構造単位 1 2 を n 回繰り返した場合の前記光吸収層 1 2 A および歪補償層 1 2 B の合計の厚さをそれぞれ示しており、前記膜厚 $l w$ および $l b$ を使って、それぞれ $L w = n \cdot l w$ 、 $L b = n \cdot l b$ で表される。

【 0 0 2 2 】

前記光吸収層 1 2 A と歪補償層 1 2 B とを繰り返した前記超格子構造 1 2 上には、I n P キャップ層 1 3 がエピタキシャルに形成される。

【 0 0 2 3 】

図 4 は、かかるモデル構造について、前記超格子構造 1 2 の膜厚、すなわち前記超格子構造 1 2 中における前記光吸収層 1 2 A および歪補償層 1 2 B の合計膜厚 L を $1.3 \mu m$ とし、この制限下において前記光吸収層 1 2 A の合計厚 $L w$ と歪量 εw を様々に変化させた場合に得られる前記キャップ層 1 3 の表面モフォロジーの良否をまとめて示す。ただし先の式 (1) に示した歪緩和の条件から、前記歪補償層 1 2 B の歪量 εb は $\varepsilon b = \varepsilon w \cdot L w / L b$ により与えられる。図 4 中、○は前記キャップ層 1 3 において平坦で良好な表面モフォロジーが得られた場合を、また×は凹凸のある不規則な表面モフォロジーが得られた場合を示す。

【 0 0 2 4 】

図 4 を参照するに、歪量 εw および合計膜厚 $L w$ の両方が大きい場合にはキャ

ップ層 1 3 の表面には不規則なモフォロジーが現れ、一方前記歪量 εw および合計膜厚 $L w$ の両方が小さい場合には、平坦で良好なモフォロジーの表面が得られることがわかる。また図 4 において、表面モフォロジーが良好な領域 (○) と不良な領域 (×) とは、図中に太線で示した、式

$$L w = A \times \varepsilon w + L \quad (A, L \text{ は定数}) \quad (2)$$

で表される直線により、明確に区画されることがわかる。

【 0 0 2 5 】

前記キャップ層 1 3 の表面において観察されたモフォロジーはその下の積層構造 1 2 中における光吸収層 1 2 A および歪補償層 1 2 B の表面モフォロジーを反映していると考えられ、図 4 中において × で示した領域においては、前記超格子構造 1 2 中における光吸収層 1 2 A と歪補償層 1 2 B の規則的な積層が破壊されているものと考えられる。従って図 4 の結果は、図 3 の超格子構造 1 2 を半導体受光装置の受光層として使う場合、光吸収層 1 2 A の膜厚 $L w$ と歪量 εw とを、式 (2) で画成される表面モフォロジーが良好な範囲に入るように決定する必要があることを示している。

【 0 0 2 6 】

図 5 は図 3 のモデル構造において、前記光吸収層 1 2 A の合計膜厚 $L w$ が前記歪補償層 1 2 B の合計膜厚 $L b$ に等しくなるように、すなわち式

$$L w = L b = L / 2 \quad (3)$$

が成立するように条件を設定し、さらに前記歪量 εw が歪量 εb に等しくなるように、すなわち式

$$\varepsilon w = \varepsilon b = \varepsilon \quad (4)$$

が成立するように条件を設定し、さらに前記合計膜厚 L および歪量 ε を様々に変化させた場合における、モデル構造の表面モフォロジーの良否を示す。図 5 中先と同様に、○は前記キャップ層 1 3 において平坦で良好な表面モフォロジーが得られた場合を、また × は凹凸のある不規則な表面モフォロジーが得られた場合を示す。

【 0 0 2 7 】

図 5 を参照するに、歪量 ε および合計膜厚 L の両方が大きい場合にはキャップ

層 1 3 の表面には不規則なモフォロジーが現れ、一方前記歪量 ε および合計膜厚 L の両方が小さい場合には、平坦で良好なモフォロジーの表面が得られることがわかる。図 5 において、表面モフォロジーが良好な領域 (○) と不良な領域 (×) とは、図中に太線で示した、式

$$L = 0.1 / \varepsilon^4 \quad (5)$$

で表される線により、明確に区画される。なお図 5 中、○と×が重なっているのは、前記超格子構造 1 2 中における一層当りの層厚の違いに起因する。

【0 0 2 8】

前記式 (2) は、前記式 (3) および (4) の条件を満たすはずであり、従って式 (2) を係数 A について解き、これを L を使って表現すると、式

$$L w = -L^{5/4} \cdot \varepsilon w / (2 \times 0.1^{1/4}) + L \quad (6)$$

が得られる。

【0 0 2 9】

式 (6) の関係が満たされている超格子構造は、図 4, 5 で説明した表面モフォロジーの不良を生じない所定の歪限界内にある。

【0 0 3 0】

式 (6) を使って $L b$ と L の比を表すと、式

$$L b / L = (L - L w) / L = L^{1/4} \cdot \varepsilon w / (2 \times 0.1^{1/4}) = 0.89 \cdot L^{1/4} \cdot \varepsilon w \quad (7)$$

が得られるが、このことは前記歪限界内において前記歪補償層 1 2 B の合計膜厚 $L b$ を、超格子構造の合計膜厚 L の約 $(0.9 \cdot L^{1/4} \cdot \varepsilon w)$ 倍以下まで減少させられることを示している。

【0 0 3 1】

かかる歪超格子構造 1 2 を受光装置の受光層に使う場合には、前記光吸収層 1 2 A の合計膜厚 $L w$ は大きい方が高い受光効率が得られて好ましいが、先の図 4 の関係より図 3 の超格子構造において光吸収層 1 2 A の歪量 εw を増大させると歪補償層 1 2 B の厚さ $L b$ 、従って合計厚さ $L b$ を増大させなければならず、従って前記式 (7) より、前記歪補償層 1 2 B の合計膜厚 $L b$ は制限され、また前記光吸収層 1 2 A の合計膜厚 $L w$ も制限されることになる。

【 0 0 3 2 】

図 6 は、図 4 の関係に受光効率 η を重ねて示す図である。ただし図 6 中、等高線が前記受光効率 η の値を示す。図 6 の受光効率 η は、 -40°C において前記 InGaAs 超格子構造 1 2 に、波長が $1.62\mu\text{m}$ の入射光が垂直に入射した場合のもので、前記光吸収層 1 2 A の合計膜厚 L_w および歪量 ε_w から算出している。

【 0 0 3 3 】

図 6 より、歪量 ε_w が 0.25% 以上、 0.6% 以下の範囲で、 50% を上回る受光効率を得られることがわかる。

【 0 0 3 4 】

ところで、このような歪補償層中の歪量を増大させた構造では、光吸収層と歪補償層との間のバンドギャップ差が増大し、量子シフトにより光吸収層の吸収波長域が短波長側にシフトしてしまう可能性があるため、本発明では前記光吸収層の厚さを、量子シフトがほとんど生じない 50nm 以上の厚さに設定する。あるいは量子シフトを制御して、前記光吸収層の吸収波長域が -40°C で 1620nm 帯域をカバーするように、光吸収層の厚さを設定してもよい。

【 0 0 3 5 】

かかる構成により、 1620nm 帯の光検出を、広い温度環境下で安定して行うことが可能になる。また前記受光層中の光吸収層の合計膜厚を $1\mu\text{m}$ 以上にすることが可能である。

【 0 0 3 6 】

さらに、本発明では光吸収層と歪補償層との間のバンドギャップ差に起因して、光吸収層と歪補償層との界面近傍にキャリアがせき止められる現象を解消するため、前記光吸収層と歪補償層との間に、中間的なバンドギャップを有する中間層を介在させる。かかる中間層を設けることにより、前記界面におけるキャリア蓄積に起因する光電流、特にホール電流の減少が回避され、またキャリア溜りによるキャパシタンスが減少する。このため、優れた高速応答特性が確保される。かかる中間層は、ホールが蓄積しやすい、前記光吸収層が歪補償層と接する界面のうち、 p 型領域が形成されている側の界面に形成するのが特に効果的である。

前記中間層は、バンドギャップが漸移的に変化するように、厚さ方向に組成が漸移的に変化するものであってもよい。その際、前記中間層の組成を、歪補償層との界面において引っ張り歪が蓄積され、光吸収層との界面において圧縮歪が蓄積されるように変化させることにより、移動度の小さいホール電流がせき止められる問題が効果的に軽減され、優れた応答特性が確保される。

【 0 0 3 7 】

さらに本発明によれば、前記光吸収層と歪補償層とが、MOVPE法により、連続して、中断することなく形成されるため、ヘテロ界面において生じがちなCやSi等の界面パイルアップの問題が生じることがなく、結晶性の良好な光吸収層が得られる。

【 0 0 3 8 】

本発明の半導体受光装置において、前記受光層を $1\mu\text{m}$ 以上の膜厚に形成することにより、 1620nm 帯のような長波長帯域に感度を有し、高速光信号（例として $10\text{Gbit}/\text{秒}$ 程度）に対して十分な応答特性を有する半導体受光装置が得られる。

【 0 0 3 9 】

【発明の実施の形態】

〔第1実施例〕

図3は、本発明の第1実施例による半導体受光装置30の構成を示す。ただし図3中、先に図1で説明した部分に対応する部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。

【 0 0 4 0 】

図3を参照するに、本実施例の半導体受光装置30は先に図1で説明した従来の前記半導体受光装置20と同様な構成を有するが、前記受光層30が、厚さが 20nm で $+0.4\%$ の圧縮歪を蓄積した InGaAs よりなる光吸収層3aと厚さが 10nm で -0.8% の引っ張り歪を蓄積した InGaAs よりなる歪補償層3bとを繰り返し、20周期にわたり積層した超格子構造により置き換えられている。

【 0 0 4 1 】

より具体的に説明すると、図1の構造において、前記n型InP基板7上に前記第1のInPバッファ層6と、InGaAsPエッチングストッパ層5と、第2のInPバッファ層4と、InGaAs受光層3と、InPクラッド層2と、InGaAsPコンタクト層1とが、基板温度を600°CとしたMOVPE法により、V族原料とIII族原料の供給比率を200倍に設定して、順次形成される。

【0042】

図示の例では、前記第1のInPバッファ層6は約50nmの厚さに形成され、Siにより $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ の濃度でn型にドーピングされる。また前記InGaAsPエッチングストッパ層5は約10nmの厚さに形成され、Siにより $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の濃度でn型にドーピングされる。さらに前記エッチングストッパ層5上のInPバッファ層4は約50nmの厚さに形成され、Siにより $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ の濃度でn型にドーピングされる。

【0043】

前記InPバッファ層4が形成された後、前記バッファ層4上にはSiドーパントと共にTMIn, TMGaおよびAsH₃をそれぞれIn, Ga, AsのMOVPE原料として供給し、Si濃度が $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 程度で組成がIn_{0.59}Ga_{0.41}Asで表される第1の半導体層を前記光吸収層3aとして、またSi濃度が同じく $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 程度で組成がIn_{0.44}Ga_{0.56}Asで表される半導体層を前記歪補償層3bとして、それぞれ20nmおよび10nmの厚さで20周期にわたり繰り返し堆積し、受光層3を形成する。先にも記載したように、このようにして形成された光吸収層3aは+0.4%の圧縮歪を蓄積するのに対し、歪補償層3bは-0.8%の引っ張り歪を蓄積し、歪量と膜厚の積は、前記光吸収層3aと歪補償層3bとでほぼ等しくなっている。このため、前記受光層3全体としては歪は補償されている。

【0044】

さらに、このようにして形成された受光層3上に、Siにより $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ の濃度でn型にドーピングされたInPクラッド層8を約1μmの厚さに形成し、さらにその上にPL波長が1.3μmの非ドーピングInGaAsP層1を形成する

【 0 0 4 5 】

さらに前記 InGaAsP コンタクト層 1 とその下の InP クラッド層 2 中に、Mg の拡散工程により前記 p 型拡散領域を、径が約 $20\text{ }\mu\text{m}$ で深さが約 $1\text{ }\mu\text{m}$ の円形形状となるように形成し、前記化合物半導体層 1 ~ 4 を前記 InGaAsP 層 5 をエッチングストッパとしてエッチングすることにより、前記 InGaAsP エッチングストッパ層 5 上に前記メサ構造が形成される。

【 0 0 4 6 】

最後に前記 InP 基板 7 の下面に集光レンズ 11 を形成し、前記 P 側電極 8 および n 側電極 10 を形成する。

【 0 0 4 7 】

このようにして形成された受光装置 30 では、前記光吸収層 3a は In 組成が大きいことためバンドギャップが狭まり、 -40°C の低温環境下においても所望の 1620nm 帯の長波長光を効果的に吸収する。その際、前記光吸収層 3a は In 組成が大きいことに起因して圧縮歪を蓄積するが、前記光吸収層 3a に隣接して設けられた In 組成が小さく引っ張り歪を蓄積する歪補償層 3b が前記圧縮歪を補償し、その結果前記光吸収層 3a と歪補償層 3b とよりなる構造単位を 100 周期繰り返し返しても、前記光吸収層 3a 中に欠陥が形成されることはない。

【 0 0 4 8 】

その際、先にも説明したように本実施例では、前記歪補償層 3b の厚さを前記光吸収層 3a の厚さよりも小さく設定し、さらに前記光吸収層 3a 中の圧縮歪と膜厚の積が、前記歪補償層 3b 中の引っ張り歪と膜厚の積にほぼ等しくなるように、前記歪補償層 3b 中の引っ張り歪量を増加させる。かかる構成によれば、受光層 3 中において光吸収に寄与しない歪補償層 3b の膜厚分が減少するため受光層 3 自体の全厚が減少し、入射光により励起された電子とホールがそれぞれの電極に光電流として到達する際の電流路が短縮される。換言すると、本実施例の半導体受光装置 30 は、光ファイバ通信回線で使われる $10\text{Gbit}/\text{秒}$ の高速光信号を検出するのに十分な、優れた高速応答特性を有する。

【 0 0 4 9 】

図 3 の受光層 3 0 を形成する際には、先に説明した T M I n 等の I n 原料、T M G a 等の G a 原料および A s H₃ 等の A s 原料を連続的に供給し、T M I n および T M G a の割合を変化させることにより光吸収層 3 a と歪補償層 3 b を形成するのが好ましい。このようにすることで結晶成長が層 3 a, 3 b の界面で中断されることがなくなり、層 3 a と層 3 b の間のヘテロ界面に C や S i 等のパイルアップするのが回避され、結晶性の良好な受光層 3 0 が得られる。

[第 2 実施例]

図 4 は、本発明の第 2 実施例による半導体受光装置 4 0 の構成を示す。ただし図 4 中、先に説明した部分に対応する部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。

【0 0 5 0】

図 4 を参照するに、本実施例では前記光吸収層 3 a の厚さを 5 0 n m、あるいはそれ以上に設定し、これに伴い前記歪補償層 3 b の厚さも 1 6. 7 n m あるいはそれ以上に設定する。ただし本実施例では、前記光吸収層 3 a および歪補償層 3 b 中の歪量は、歪量と膜厚の積が等しくなるように、それぞれ + 0. 2 % (圧縮歪) および - 0. 6 % (引っ張り歪) とされている。前記光吸収層 3 a の厚さが増大した分、超格子構造中における層 3 a および層 3 b の繰り返し回数は先の実施例の場合に比べて減少しており、本実施例では 2 0 周期となっている。

【0 0 5 1】

図 3 の構成においては前記光吸収層 3 a は、層 3 a の厚さが 1 0 n m 程度であるため量子井戸を形成する可能性があるが、本実施例によれば、前記光吸収層 3 a の厚さが 5 0 n m と先の実施例よりも大きくなっているため、前記光吸収層 3 a 中に量子井戸が形成されることはない。量子井戸が形成されないため、前記光吸収層 3 a 中に量子準位が生じることもなく、このため前記光吸収層 3 a の吸収波長域が量子シフトにより短波長側にずれる問題は生じない。

[第 3 実施例]

図 5 は本発明の第 3 実施例による半導体受光装置 5 0 の構成を示す。ただし図

5 中、先に説明した部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。

【 0 0 5 2 】

図 5 を参照するに、半導体受光装置 5 0 は先に説明した半導体受光装置 4 0 に似た構成を有するが、本実施例では前記受光層 3 中において、歪補償層 3 b に隣接する光吸収層 3 a の界面のうち、基板 7 と反対の側、すなわち p 型拡散領域 8 の側の界面に、光吸収層 3 a と歪補償層 3 b の中間的なバンドギャップを有する n 型 InGaAs よりなる中間層 3 c を挿入する。かかる中間層 3 c としては、例えば無歪組成の InGaAs を使ってもよい。

【 0 0 5 3 】

先の実施例では、受光層 3 中において光吸収層 3 a と歪補償層 3 b とを交互に積層した場合、全体として歪補償はなされるが、前記光吸収層 3 a と歪補償層 3 b との界面にバンドギャップ差は依然として存在する。このようなバンドギャップ差は前記層 3 a, 3 b を横切って移動するキャリアをせき止めるように働き、その結果層 3 a と層 3 b の界面に沿って、キャリアが蓄積してしまう問題が生じることがある。このようなキャリアのせき止めは、特に移動度の小さいホール電流において顕著で、半導体受光装置の高速応答性が損なわれる原因となる。

【 0 0 5 4 】

そこで本発明では、下側が光吸収層 3 a で上側が歪補償層 3 b となる界面に前記中間層 3 c を挿入し、層 3 a と層 3 b との間のバンドギャップ差を緩和する。また、かかる中間層 3 c を、図 5 に示すように上側の歪補償層 3 b に接する側において引っ張り歪を生じ、下側の光吸収層 3 a に接する側において圧縮歪を生じるように、 In および Ga 組成を膜厚方向に漸移的に変化させたグレーデッド組成層とし、多層構造としてもよい。

【 0 0 5 5 】

さらに、図示は省略するが、このような中間層 3 c を、下側が歪補償層 3 b で上側が光吸収層 3 a となる界面に挿入してもよい。このような構成によれば、電子電流が層 3 a と層 3 b との間の界面でせき止められる問題が軽減される。この場合には、前記中間層 3 c の組成を、上側の光吸収層 3 a に接する側において圧縮歪を生じ、下側の歪補償層 3 b に接する側において引っ張り歪を生じるように

、I n および G a 組成を膜厚方向に漸移的に変化させるのが好ましい。

【 0 0 5 6 】

なお、本発明による歪超格子構造の受光層は、P I N 型フォトダイオードに限定されるものではなく、A P D (アバランシェフォトダイオード) に対しても適用が可能である。

【 0 0 5 7 】

以上、本発明を好ましい実施例について説明したが、本発明はかかる特定の実施例に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載した要旨内において、様々な変形・変更が可能である。

【 0 0 5 8 】

【発明の効果】

本発明によれば、1 6 2 0 n m 帯域に感度を有する高速半導体受光装置を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

従来の半導体受光装置の構成を示す図である。

【図 2】

従来の半導体受光装置の一部を示す図である。

【図 3】

本発明の原理を説明する図である。

【図 4】

本発明の原理を説明する別の図である。

【図 5】

本発明の原理を説明するさらに別の図である。

【図 6】

本発明の原理を説明するさらに別の図である。

【図 7】

本発明の第 1 実施例による半導体受光装置の一部を示す図である。

【図 8】

本発明の第 2 実施例による半導体受光装置の一部を示す図である。

【図 9】

本発明の第 3 実施例による半導体受光装置の一部を示す図である。

【符号の説明】

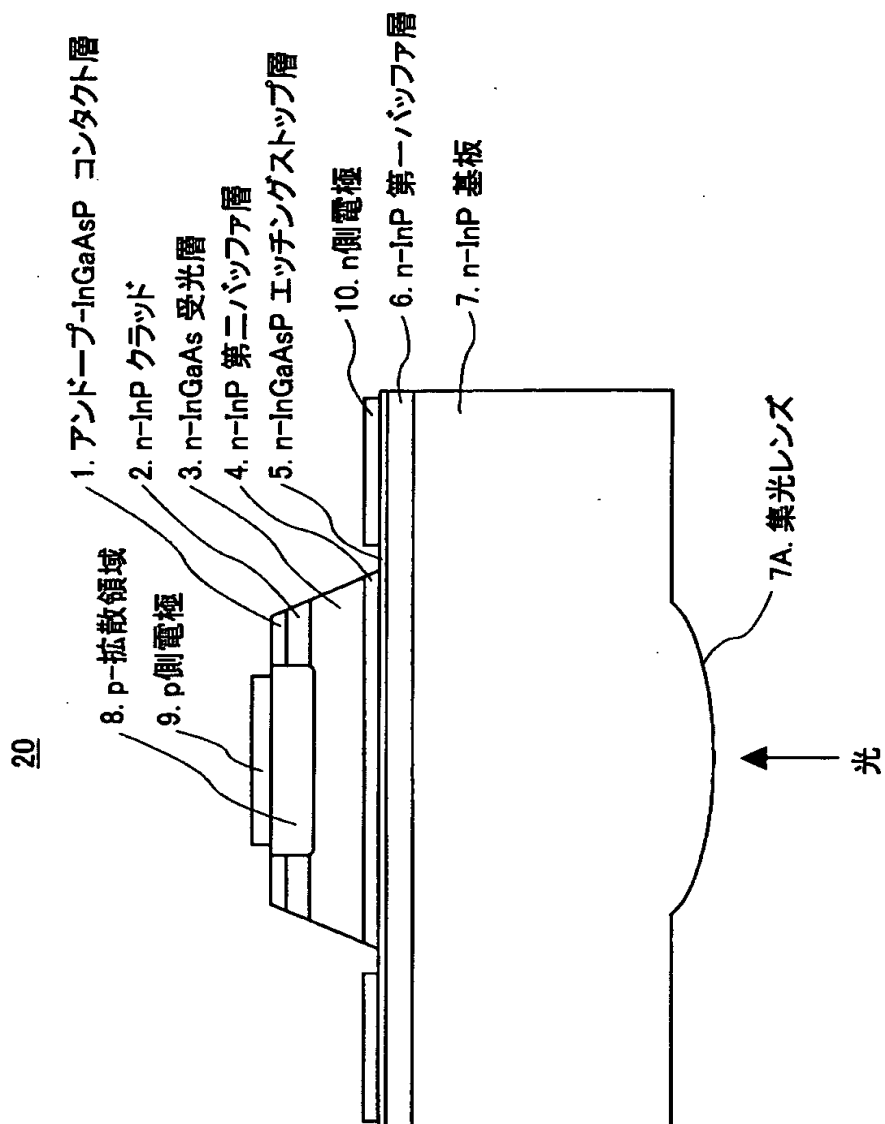
- 1、21, 23 コンタクト層
- 2 クラッド層
- 3, 21 受光層
- 3a 光吸収層
- 3b 歪補償層
- 3c 中間層
- 4 第 2 バッファ層
- 5 エッチングストップ層
- 6 第 1 バッファ層
- 7 基板
- 7A 集光レンズ
- 8 p 型拡散領域
- 9 p 側電極
- 10 n 側電極
- 11 基板
- 12 歪超格子構造
- 12A 光吸収層
- 12B 歪補償層
- 12U 構造単位
- 13 キャップ層
- 20, 30, 40, 50 半導体受光装置

【書類名】

図面

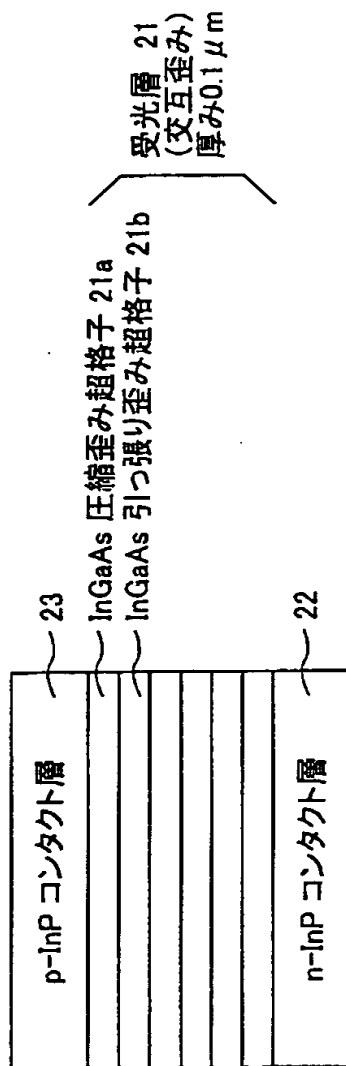
【图 1】

従来の半導体受光装置の構成を示す図



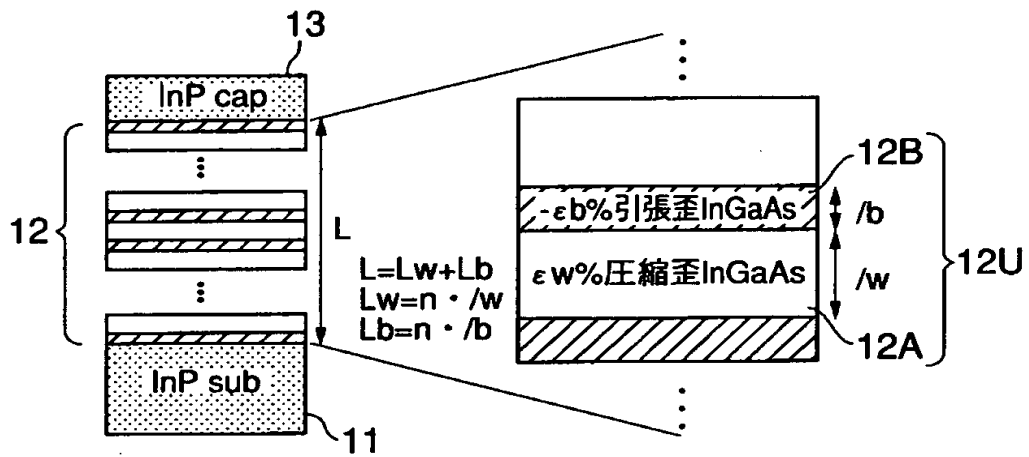
【図 2】

従来の半導体受光装置の一部を示す図



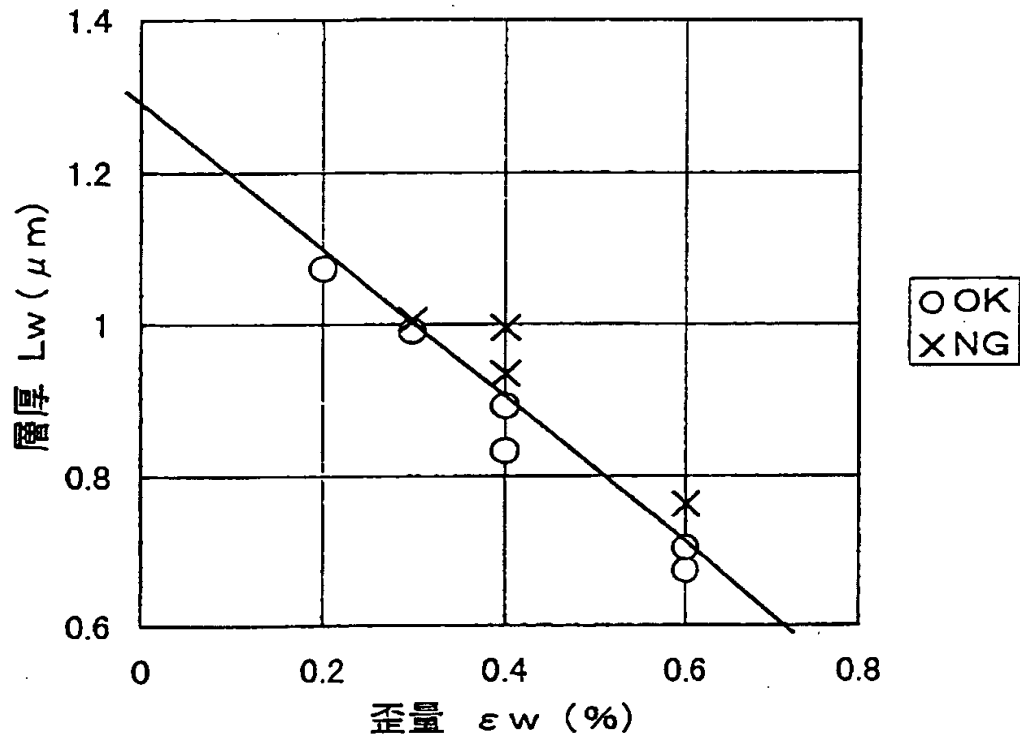
【図 3】

本発明の原理を説明する図



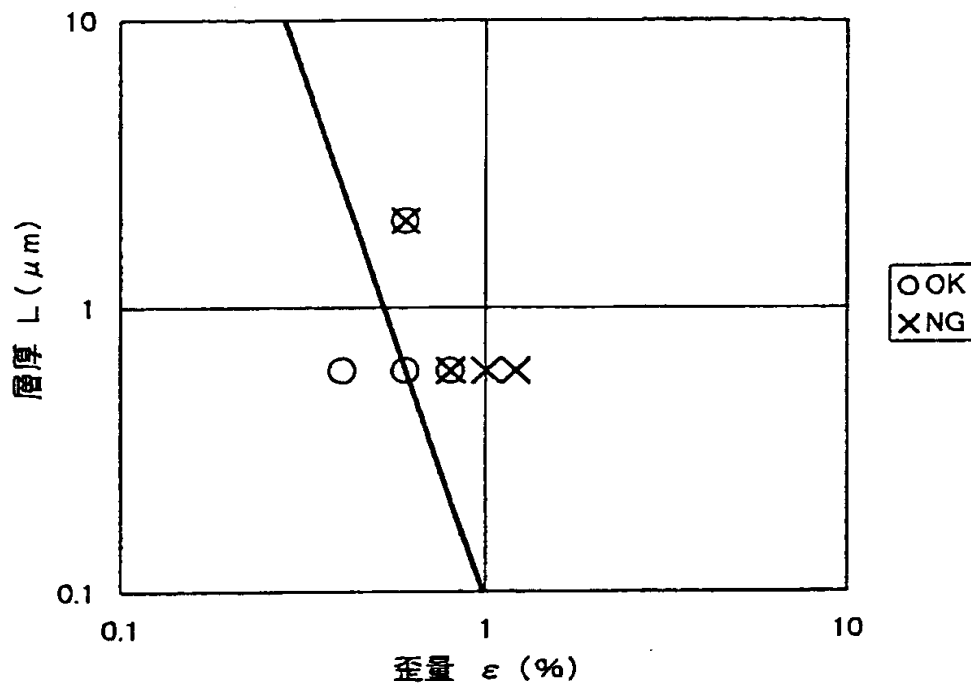
【図 4】

本発明の原理を説明する別の図



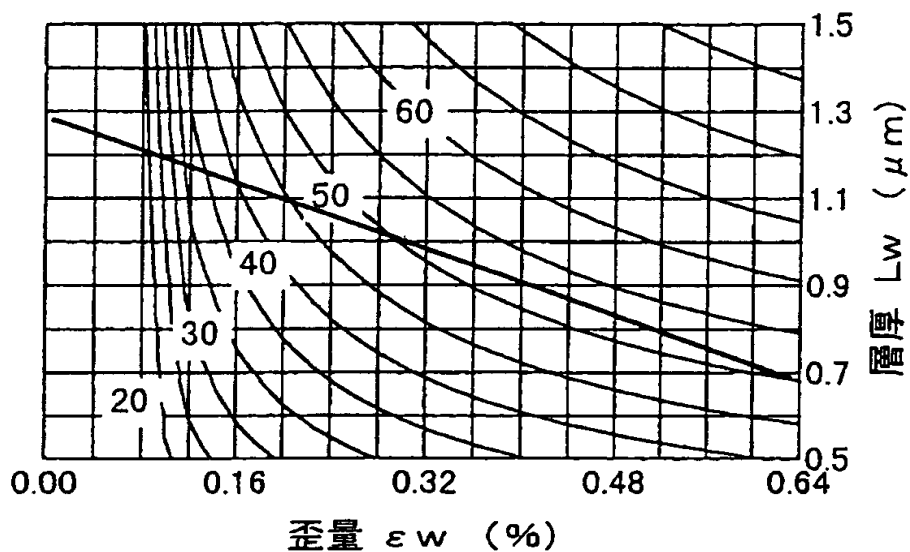
【図 5】

本発明の原理を説明するさらに別の図



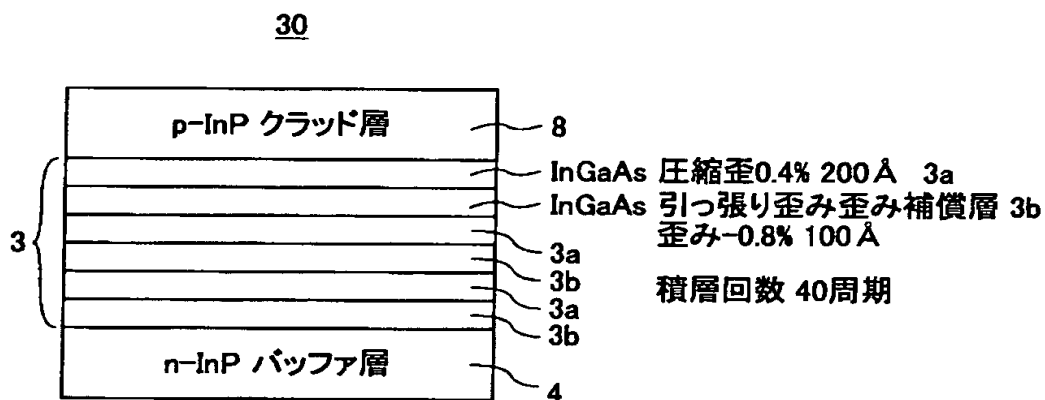
【図 6】

本発明の原理を説明するさらに別の図



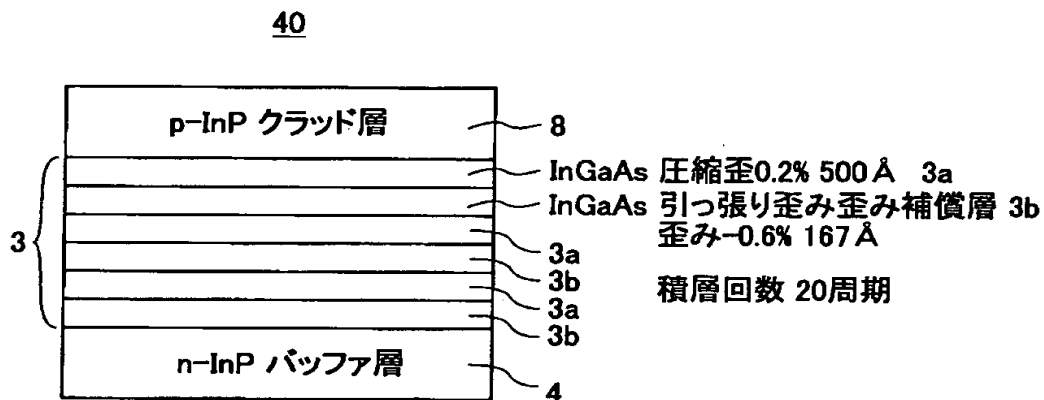
【図 7】

本発明の第 1 実施例による半導体受光装置の一部を示す図



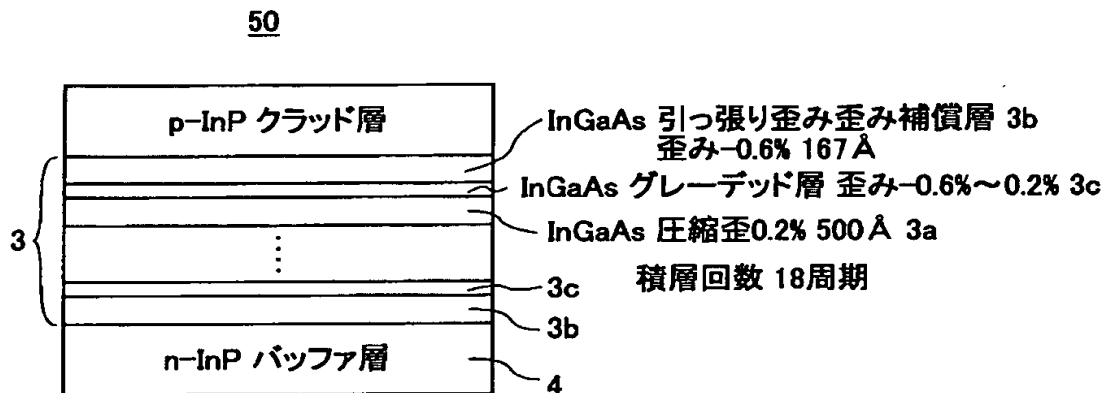
【図 8】

本発明の第 2 実施例による半導体受光装置の一部を示す図



【図 9】

本発明の第 3 実施例による半導体受光装置の一部を示す図



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 広い動作温度環境において 1 6 2 0 n m 帯に感度を有する高速半導体受光装置を提供する。

【解決手段】 受光装置中の受光層を、圧縮歪を蓄積し 1 6 2 0 n m 帯の波長を吸収する光吸収層と、引っ張り歪を蓄積した歪補償層とを交互に積層した超格子構造とし、その際前記歪補償層の厚さを前記光吸収層の厚さよりも小さく設定する。

【選択図】 図 3

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000154325]

1. 変更年月日 1992年 4月 6日

[変更理由] 名称変更

住 所 山梨県中巨摩郡昭和町大字紙漣阿原1000番地

氏 名 富士通カンタムデバイス株式会社